

Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) **EP 0 824 240 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**18.02.1998 Patentblatt 1998/08**

(51) Int Cl.<sup>6</sup>: **G06F 19/00**

(21) Anmeldenummer: **97250229.8**

(22) Anmeldetag: **06.08.1997**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC  
NL PT SE**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL LT LV RO SI**

(30) Priorität: **10.08.1996 DE 19632371**

(71) Anmelder:  
• **Salzsieder, Eckhard, Dr.**  
**17495 Karlsburg (DE)**  
• **Rutscher, Alexander, Dipl.-Ing.**  
**17495 Züssow (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Salzsieder, Eckhard, Dr.**  
**17495 Karlsburg (DE)**  
• **Rutscher, Alexander, Dipl.-Ing.**  
**17495 Züssow (DE)**

(74) Vertreter: **Meyerhöfer, Dietmar, Dipl.-Ing.**  
**Patentanwalt,**  
**Rudolf-Petershagen-Allee 12**  
**17489 Greifswald (DE)**

(54) **Verfahren und Anordnung zur Bestimmung individualspezifischer Insulinwirkäquivalente körperlicher Aktivität**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Bestimmung individualspezifischer Insulinwirkäquivalente körperlicher Aktivitäten, die für rechnergestützte Lern- und Trainingsprogramme sowie in der Fort- und Weiterbildung einsetzbar sind. Das Verfahren und die Anordnung zu dessen Durchführung ergeben ein Insulinwirkäquivalent, bestehend aus einer quantitativen Maßzahl und einem dieser Maßzahl zugeordneten Wirkprofil, welche zusammengekommen die Beziehung zwischen der in einem bestimmten Zeitintervall vollbrachten Arbeitsleistung und dem dieser Arbeitsleistung entsprechenden Ausmaß und zeitlichen Verlauf der insulinähnlichen Effekte einer körperlichen Aktivität beschreiben.

Erfindungsgemäß wird dieses Insulinwirkäquivalent individualspezifisch für die quantitative und qualitative Beziehung zwischen einer körperlichen Aktivität und der individuellen Wirkung vom verabfolgten Insulin ermittelt.

Dies wird dadurch erreicht, daß erfindungsgemäß

mittels Mikrorechneranordnung aus abgespeicherten definierten Belastungsherzfrequenzdaten durch Mittelwertbildung die individualspezifischen Belastungsfrequenz ermittelt wird, mit der dann auf der Grundlage eines physiologischen Modells des Glukose/Insulin-Stoffwechsels rechnergestützt das individualspezifische Insulinwirkäquivalent, ausgedrückt als Vielfaches der Wirkung einer internationalen Insulineinheit (IE) mit zugeordnetem Profil des Ausmaßes, der Dauer und des zeitabhängigen Verlaufes der insulinähnlichen Wirkung dieser körperlichen Aktivität bestimmbar ist. Anschließend wird anhand des so errechneten individualspezifischen Insulinwirkäquivalents modellgestützt ein Dosis/Wirkungs-Nomogramm erzeugt, welches für beliebige körperliche Aktivitäten die individual spezifischen Insulinäquivalente unter Berücksichtigung der Dauer, der Intensität und der Art der jeweiligen körperlichen Aktivität ausweist.

**EP 0 824 240 A2**

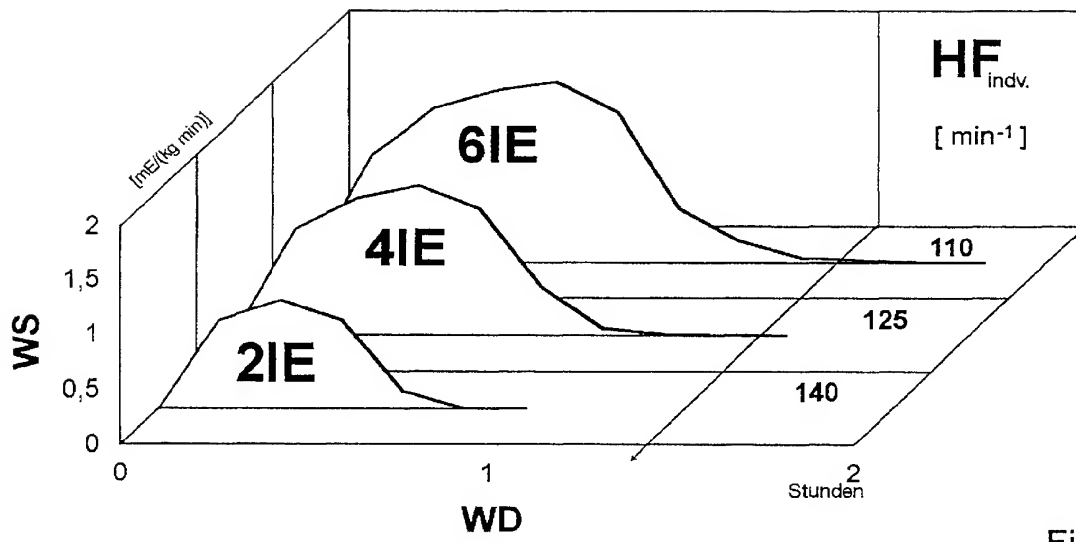


Fig. 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Bestimmung individualspezifischer Insulinwirkäquivalente körperlicher Aktivität, die für rechnergestützte Lern- und Trainingsprogramme sowie in der Fort- und Weiterbildung einsetzbar sind. Die Erfindung findet auf dem Gebiet der mikrorechnergestützten Medizintechnik, vorzugsweise mittelbar mit der Ergometrie gekoppelt, Anwendung.

Es ist schon frühzeitig bekannt geworden, daß körperlicher Aktivität aufgrund der blutzuckersenkenden Wirkung eine bedeutsame Rolle in der Stoffwechselkontrolle von Patienten mit Diabetes mellitus zukommt.

Durch Kemmer, F.W.: Prevention of hypoglycemia during exercise in type 1 diabetes, Diabetes Care 15, 1992, 1732-1732, ist deshalb vorgeschlagen worden, bei geplanter körperlicher Aktivität die zu erwartenden Effekte vorher auf geeignete Weise abzuschätzen. Hierzu sind verschiedene Verfahren durch Deickert, F.: Sport und Diabetes, Springer Verlag, vorgeschlagen worden, darunter die Empfehlungen der European IDDM Policy Group: Consensus guidelines for the management of insulin-dependent (type I) diabetes, Medicom Europe BV, IDF, Brussels, 1993, und die der Amerikanischen Diabetesgesellschaft, Physician's guide to insulin-dependent (type I) diabetes: Diagnosis and Treatment, Alexandria, V.A., Am. Diabetes Assoc., 1988.

Bislang ist das Problem der vorherigen Abschätzung der zu erwartenden Effekte einer geplanten körperlichen Aktivität nur durch langwieriges Ausprobieren zu lösen, wobei das prinzipielle Ziel dieses Vorgehens in der Regel darin besteht, eine quantitative Beziehung zwischen körperlicher Aktivität und Insulinwirkung aufzufinden, was bedeutet, ein individual spezifisches Insulinwirkäquivalent der körperlichen Aktivität zu definieren.

Bisher durch Schmülling, R.-M. et al.: Exercise and insulin requirements, Horm. Metab. Res. 24, 1990, 83-87, und Menzel, R.: Insulin zum Leben, Verlag Gesundheit 1992, 78-84, bekanntgewordene Verfahren zur Ermittlung eines auf die körperliche Aktivität bezogenen Insulinwirkäquivalentes bestimmen zumeist allgemeine, unspezifische Bewegungseinheiten, denen in Abhängigkeit von Dauer, Intensität und Art der körperlichen Aktivität gemäß Erfahrungswerten Insulindosen zugeordnet werden. Die Anpassung an den patientenspezifischen Trainingszustand erfolgt dann in der Regel rein empirisch.

Alle bekannten Verfahren beinhalten den gemeinsamen Nachteil, daß sie weder eine quantitative Beziehung zwischen aktuellem Trainingszustand, körperlicher Aktivität und individueller Wirkung von Insulin herzustellen gestatten, noch daß sie im Einzelfall eine vorherige Abschätzung der zu erwartenden quantitative und qualitative Effekte einer bestimmten körperlichen Aktivität erlauben und somit für rechnergestützte Lern- und Trainingsprogramme nicht geeignet sind.

Die Aufgabe der Erfindung besteht daher darin, ein Verfahren und eine Anordnung zur Durchführung des Verfahrens bereit zu stellen, welche gestatten, unabhängig von speziellen meß- und rechentechnischen Voraussetzungen ein individual spezifisches Insulinwirkäquivalent körperlicher Aktivität analog den Wirkprofilen von Insulin zu ermitteln mit dem Ziel, ein geeignetes Instrumentarium in die Hand zu bekommen, um Sport und andere körperliche Aktivitäten hinsichtlich der prospektiven Abschätzung ihrer quantitativen und qualitativen Effekte in rechnergestützte Lern- und Trainingsprogramme einbeziehen zu können.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß in zwei Verfahrensschritten die individualspezifischen Insulinwirkäquivalente körperlicher Aktivitäten, bestehend aus einer Maßzahl und einem dieser zugeordneten Wirkprofil, welche zusammengenommen das Ausmaß, die Dauer und den zeitlichen Verlauf des Effektes in Analogie zur Wirkkinetik von Insulin beschreiben, allein aus der individuellen Belastungsherzfrequenz auf der Grundlage des in dem deutschen Patent 277 819 bereits beschriebenen Modells des Glukose/Insulin-Stoffwechsels herleitbar sind. Im ersten Verfahrensschritt wird das individualspezifische Insulinwirkäquivalent ( $IW\ddot{A}_{indv}$ ) für eine definierte körperliche Belastung, bestehend aus der individuellen quantitativen Maßzahl ( $MA_{indv}$ ) und dem dieser Maßzahl zugeordneten Wirkprofil ( $IW\ddot{A}(t)_{indv}$ ), welches den zeitlichen Verlauf der insulinähnlichen Effekte dieser Belastung mittels Wirkdauer (WD) und Wirkungsstärke (WS) in Abhängigkeit vom individuellen Trainingszustand beschreibt, bestimmt. Als Eingangsgröße dieses Verfahrensschritts dienen deshalb die Belastungsherzfrequenzen, die in bekannter Weise mittels definierter Ergometerbelastung ermittelt und vorzugsweise nach drahtloser Übertragung als abgespeicherte Daten einem Mikrorechner zur Verfügung stehen. Verfahrensgemäß wird mittels Mikrorechner aus den Eingangsdaten ( $HF_m$ ), die über einem Zeitraum von 5 min nach Beginn bis zum Ende der Ergometerbelastung vorzugsweise im Minutentakt vorliegen, durch Mittelwertbildung die individual spezifische Belastungsherzfrequenz ( $HF_{indv}$ ) berechnet und abgespeichert. Anschließend wird regressiv unter Verwendung dieser individualspezifischen Belastungsfrequenz ( $HF_{indv}$ ) die quantitative Maßzahl ( $MA_{indv}$ ), ausgedrückt als Vielfaches der Wirkung einer internationalen Insulineinheit IE, des individualspezifischen Insulinwirkäquivalentes ( $IW\ddot{A}_{indv}$ ) gemäß der Regressionsgleichung

$$MA_{indv} = K_0 - K_1 \cdot HF_{indv} \quad (1)$$

bestimmt, wobei die beiden Regressionskoeffizienten ( $K_0$ ) und ( $K_1$ ) den erfindungsgemäßen Zusammenhang zwischen den modellgestützt erzeugten Insulinwirkäquivalenten körperlicher Aktivität (IWA) und der Belastungsherzfrequenz (HF) beschreiben.

Das dieser individuellen quantitativen Maßzahl ( $MA_{indv}$ ) zugeordnete Wirkprofil ( $IW\ddot{A}(t)_{indv}$ ) der definierten körperlichen Belastung wird dann aus dem durch das Glukose/Insulin-Stoffwechselmodell definierten Zusammenhang zwischen der quantitativen Maßzahl ( $MA_{indv}$ ) und der Fläche unter dem zeitabhängigen Wirkungsverlauf ( $IW\ddot{A}(t)$ ) gemäß der Beziehung

$$MA_{indv} = F_1 * \int_{t_1}^{t_2} IW\ddot{A}(t) dt \quad (2)$$

mit dem Proportionalitätsfaktor  $F_1$  zur Beschreibung der Dosis/Wirkungs-Kennlinie für die Ermittlung des Vielfachen der insulinäquivalenten Wirkung der definierten körperlichen Aktivität in Relation zu einer subkutan verabfolgten Insulinereinheit bestimmt. Der zeitabhängige Wirkungsverlauf ( $IW\ddot{A}(t)$ ) wird dabei durch Lösen des dem Glukose/Insulin-Stoffwechselmodell zugeordneten Differentialgleichungssystems

$$\dot{x} = u + CHO(t) \quad (3.1)$$

$$\dot{u} = - (b_1 + b_2)u - b_3(y + e) + b_1 (b_0 - CHO(t)) \quad (3.2)$$

$$\dot{y} = - k y + INS(t) \quad (3.3)$$

$$\dot{e} = - k e + IW\ddot{A}(t) \quad (3.4)$$

und durch Vergleich des zeitabhängigen Wirkungsverlaufs ( $IW\ddot{A}(t)$ ) mit dem für eine definierte subkutane Insulinapplikation bekannten Insulinwirkprofil ( $INS(t)$ ) ermittelt.

Im Differentialgleichungssystem bedeuten  $x$ ,  $u$ ,  $y$  und  $e$  Zustandsgrößen, die den Zeitverlauf der Blutkonzentration ( $x$ ), der endogenen Glukosebilanz ( $u$ ), der Insulinkonzentration im Blut ( $y$ ) und der insulinäquivalenten Wirkung körperlicher Aktivität ( $e$ ) beschreiben. Die Größen  $b_1$  und  $k$  sind Parameter des Differentialgleichungssystems für die endogene Glukoseproduktion ( $b_0$ ), den Verstärkungsfaktor und die Zeitkonstante des insulinabhängigen Glukoseumsatzes ( $b_1$ ,  $b_2$ ), die insulinstimulierte Glukoseverwertung ( $b_3$ ) und den Insulinkatabolismus ( $k$ ). Der zeitlichen Verlauf der Nahrungsresorption ( $CHO(t)$ ), die blutzuckersenkende Wirkung subkutan verabfolgtes Insulin ( $INS(t)$ ) und die insulinäquivalente Wirkung körperliche Aktivität ( $IW\ddot{A}(t)$ ) sind die zeitabhängigen Eingangsgrößen des Modells. Das individualspezifische Insulinwirkäquivalent ( $IW\ddot{A}_{indv}$ ), bestehend aus der individuellen Maßzahl ( $MA_{indv}$ ) und dem dieser Maßzahl zugeordneten Wirkprofil ( $IW\ddot{A}(t)_{indv}$ ), ergibt sich aus der Beziehung

$$IW\ddot{A}_{indv} = \int_{t_1}^{t_2} IW\ddot{A}(t)_{indv} dt, \quad (4)$$

wobei die individuelle Maßzahl ( $MA_{indv}$ ) dem Integral der Fläche unter dem zeitlichen Verlauf der Wirkungskurve, das bedeutet, dem numerischen Wert der Wirkfläche, entspricht. Sind der individuelle Trainingszustand, charakterisiert durch die individuelle Belastungsherzfrequenz ( $HF_{indv}$ ), sowie das individualspezifische Insulinwirkäquivalent ( $IW\ddot{A}_{indv}$ ) bekannt, sind erfindungsgemäß im zweiten Verfahrensschritt die Insulinwirkäquivalente beliebiger körperlicher Aktivitäten ( $IW\ddot{A}_{last}$ ) ermittelbar.

Es werden dazu die Werte der Intensität ( $I$ ) und der Dauer ( $D$ ) und die Art ( $A_i$ ) einer körperlichen Aktivität in den Mikrorechner eingegeben, in dem bereits die individuelle Belastungsherzfrequenz abgespeichert ist. Aus diesen drei Eingangsgrößen wird gemäß der Beziehung

$$AL_k = A_i * (I * D) \quad (5)$$

zunächst die für die jeweilige körperliche Aktivität zu vollbringende Arbeitsleistung ( $AL_k$ ), ausgedrückt in Wh, durch Multiplikation von Intensität (I) und Dauer (D) der körperlichen Aktivität berechnet. Die Art der körperlichen Aktivität wird in Form des dimensionslosen Multiplikationsfaktors ( $A_i$ ) berücksichtigt, welcher tabellarisch im Mikrorechnersystem abgespeichert ist. Mittels dieses Faktors werden verschiedenen körperlichen Belastungen Faktoren zwischen 0,5 und 5 zugeordnet. Für die so berechnete Arbeitsleistung ( $AL_k$ ) einer körperlichen Aktivität wird dann mittels eines Nomogramms die dieser Arbeitsleistung entsprechende Maßzahl ( $MA_{last}$ ) regressiv gemäß der Gleichung

$$MA_{last} = P_0 + P_1 (HF_{indv}) * AL_k \quad (6)$$

ermittelt, wobei die Regressionskoeffizienten ( $P_0$ ) und ( $P_1$ ) den erfindungsgemäßen Zusammenhang zwischen den modell gestützt erzeugten Insulinwirkäquivalenten körperlicher Aktivität (IWÄ) und einer beliebigen körperlichen Arbeitsleistung ( $AL_k$ ) unter Berücksichtigung der individuellen Belastungsherzfrequenz ( $HF_{indv}$ ) beschreiben.

Der Einfluß der individuellen Belastungsherzfrequenz ( $HF_{indv}$ ) wird in der Gleichung (6) dadurch realisiert, daß der durch den Regressionskoeffizienten ( $P_1$ ) bestimmte Anstieg der Regressionsgeraden zwischen der körperlichen Arbeitsleistung ( $AL_k$ ) und der dieser Arbeitsleistung entsprechende Maßzahl ( $MA_{last}$ ) Funktional von der individuellen Belastungsherzfrequenz ( $HF_{indv}$ ) abhängt und somit individualspezifisch zugeordnet ist. Das dieser belastungsspezifischen Maßzahl ( $MA_{last}$ ) zugeordnete Wirkprofil (IWÄ ( $t$ )<sub>last</sub>) wird dann analog dem Vorgehen im ersten Verfahrensschritt gemäß der Beziehungen

$$MA_{last} = F * \int_{t_1}^{t_2} IW\ddot{A}(t) dt \quad (7)$$

unter Verwendung des Differentialgleichungssystems (3.1 bis 3.4) bestimmt und aus beiden Größen schließlich das individualspezifische, belastungsabhängige Insulinwirkäquivalent

$$IW\ddot{A}_{last} = \int_{t_1}^{t_2} IW\ddot{A}(t)_{last} \quad (8)$$

einer beliebigen körperlichen Belastung ermittelt.

Die erfindungsgemäße Mikrorechneranordnung zur Durchführung des Verfahrens ist vorzugsweise in einem Mikrorechnersystem, welches einem Ergometer direkt zugeordnet ist, integriert. An den zwei Eingängen eines ersten Input-Moduls der Anordnung werden die Daten Intensität ( $I_p$ ) und Dauer ( $D_p$ ) der definierten Ergometerbelastung eingegeben. Dem ersten Input-Modul ist ein Herzfrequenz-Modul nachgeschaltet, in dem die Eingangsdaten in Form der während einer definierten Ergometerbelastung aufeinanderfolgend abgespeicherten Herzfrequenzwerte ( $HF_m$ ) übernommen und zwischengespeichert werden. Anschließend wird erfindungsgemäß in diesem Herzfrequenz-Modul aus diesen Einzelwerten durch Mittelwertbildung die individuelle Belastungsherzfrequenz ( $HF_{indv}$ ) ermittelt und als Signal an den ersten Eingang eines Regressions-Moduls und an den ersten Eingang eines Nomogramm-Moduls geführt. Der zweite Eingang des Regressions-Moduls ist mit dem zweiten Ausgang eines Modell referenz-Moduls zur Bereitstellung der für die Regressionsrechnung erforderlichen Werte des Insulinwirkäquivalents körperlicher Aktivität (IWÄ) verbunden. Der Ausgang des Regressions-Moduls bildet den ersten Eingang eines ersten Differentialgleichungs-Moduls zur Übergabe der individuellen Maßzahl ( $MA_{indv}$ ). Über seinen zweiten Eingang ist das erste Differentialgleichungs-Modul mit dem ersten Ausgang des Modellreferenz-Moduls zur Übernahme der im Modellreferenz-Modul abgespeicherten Referenzwerte der blutzuckersenkenden Wirkung des subkutan verabfolgten Insulins (INS(t)) und der numerischen Modellparameter  $b_i$  und  $k$  verbunden. Der Ausgang des ersten Differentialgleichungs-Moduls geht auf den Eingang des ersten Output-Moduls, in welchem die abschließende Ermittlung, Speicherung und die Ausgabe des resultierenden individualspezifischen Insulinwirkäquivalentes (IWÄ<sub>indv</sub>) der definierten Ergometerbelastung erfolgt. Über ein zweites Input-Modul werden die Daten von Intensität (I), Dauer (D) und Art ( $A_i$ ) einer beliebigen körperlichen Belastung eingegeben und an ein nachgeschaltetes Aufbereitungs-Modul weitergeleitet. Die im Aufbereitungs-Modul aus den Daten (I), (D) und ( $A_i$ ) der körperlichen Belastung ermittelte Arbeitsleistung ( $AL_k$ ) wird dann an den zweiten

Eingang des Nomogramm-Moduls übergeben. Die für die Berechnung der belastungsspezifischen Maßzahl ( $MA_{last}$ ) erforderlichen Insulinwirkäquivalente ( $IW\ddot{A}$ ) werden über den dritten Eingang des Nomogramm-Moduls bereitgestellt, welcher hierzu mit dem dritten Ausgang des Modellreferenz-Moduls verbunden ist. Die Übergabe der belastungsspezifischen Maßzahl ( $MA_{last}$ ) als Signal vom Nomogramm-Modul an ein zweites Differentialgleichungs-Modul erfolgt über dessen ersten Eingang. Der zweite Eingang des zweiten Differentialgleichungs-Moduls ist mit dem vierten Ausgang des Modellreferenz-Moduls zur Bereitstellung der für die weitere Berechnung erforderlichen Referenzwerte der blutzuckersenkenden Wirkung subkutan verabfolgten Insulins ( $INS(t)$ ) und der Modellparameterwerte  $b_i$  und  $k$  verbunden. Nach der im zweiten Differentialgleichungs-Modul durchgeführten Bestimmung des belastungsspezifischen Insulinwirkäquivalents ( $IW\ddot{A}(t)_{last}$ ) werden diese an ein zweites Output-Modul zur abschließenden Ermittlung, Speicherung und Ausgabe der resultierenden individualspezifischen Insulinwirkäquivalente beliebiger körperlicher Aktivitäten ( $IW\ddot{A}_{last}$ ) übergeben.

Die Erfindung soll nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert werden, wobei angenommen wird, daß für zwei Modellfälle P1 und P2 für die Nutzung eines rechnergestützten Lern- und Trainingsprogrammes die individualspezifischen Insulinwirkäquivalente ( $IW\ddot{A}_{indv}$ ) gemäß Fig. 1 sowie die Insulinwirkäquivalente für einen Waldlauf ( $IW\ddot{A}_{last}$ ) von ca. 40 min Dauer über eine Distanz von etwa 12 km ermittelt werden sollen. Die mittels handelsüblichen Fahrrad-Ergometers mit angeschlossenem Mikrorechnersystem und unter einer Belastung von einer Dauer  $D_D = 30$  min und einer Intensität  $I_D = 90$  Watt abgespeicherten Belastungsfrequenzdaten  $HF_m$  werden als Eingangsdaten in die erfindungsgemäße Mikrorechneranordnung gemäß Fig 2 eingegeben.

Diese Anordnung ist vorteilhafterweise in das Mikrorechnersystem des Fahrrad-Ergometers integriert und besteht aus dem ersten Input-Modul 1, dem Herzfrequenz-Modul 2, dem Regressions-Modul 3, dem Modellreferenz-Modul 4, dem ersten Differentialgleichungs-Modul 5, dem ersten Output-Modul 6, dem zweiten Input-Modul 7, dem Aufbereitungs-Modul 8, dem Nomogramm-Modul 9, dem zweiten Differentialgleichungs-Modul 10 und dem zweiten Output-Modul 11.

Aus den abgespeicherten Eingangsdaten  $HF_m$  werden mittels dieser erfindungsgemäßen Anordnung im ersten Verfahrensschritt für den Modellfall P1 eine individuelle Belastungsherzfrequenz  $HF1_{indv}$  von 147 Pulsschlägen pro Minute und für den Modellfall P2 eine individuelle Belastungsherzfrequenz  $HF2_{indv}$  von 118 Pulsschlägen pro Minute ermittelt.

Diesen individuellen Belastungsherzfrequenzen  $HF_{indv}$  sind gemäß Gleichung (1) quantitative Maßzahlen der individualspezifischen Insulinwirkäquivalente von  $MA1_{indv} = 0,9$  IE und  $MA2_{indv} = 5,1$  IE gemäß Fig. 3 zugeordnet, woraus sich nach Gleichung (2) und Integration des Modellgleichungssystems nach Gleichung (3.1 bis 3.4) sowie abschließender Anwendung von Gleichung (4) die in Fig. 4 dargestellten individualspezifischen Insulinwirkäquivalente  $IW\ddot{A}1_{indv}$  und  $IW\ddot{A}2_{indv}$  ergeben.

Unter Verwendung der so ermittelten individuellen Belastungsherzfrequenzen  $HF1_{indv}$  und  $HF2_{indv}$ , und der diesen zugeordneten individualspezifischen Insulinwirkäquivalente  $IW\ddot{A}1_{indv}$  und  $IW\ddot{A}2_{indv}$  sind nunmehr im zweiten Verfahrensschritt die für den jeweiligen Modellfall zutreffenden Insulinwirkäquivalente  $IW\ddot{A}1_{last}$  bzw.  $IW\ddot{A}2_{last}$  für den Waldlauf bestimmbar.

Hierzu werden die Intensität  $I = 12$  km/h, die Dauer  $D = 40$  min und die Art  $A_i =$  Laufen in das Input-Modul 7 der erfindungsgemäßen Mikrorechneranordnung eingegeben. Gemäß der Gleichung (5) wird aus diesen Daten mittels des Aufbereitungs-Moduls 8 die zu vollbringende Arbeitsleistung zu  $AL_k = 82$  Wh berechnet.

Für die Modellfälle P1 und P2 werden hieraus gemäß Gleichung (6) mittels des Nomogramm-Moduls 9 für diese Arbeitsleistung die individuelle Maßzahlen  $MA1_{last}$  von 1,2 IE und  $MA2_{last}$  von 6,8 IE gemäß Fig. 5 bestimmt sowie unter Anwendung des Differentialgleichungssystems (3.1 bis 3.4) und den Beziehungen (7) und (8) die belastungsabhängigen, individualspezifischen Insulinwirkäquivalente  $IW\ddot{A}1_{last}$  und  $IW\ddot{A}2_{last}$  gemäß Fig. 6 für die Modellfälle P1 und P2 ermittelt, die nunmehr zur prospektiven individualspezifischen Abschätzung der zu erwartende Effekte unter unterschiedlichen Bedingungen in ein rechnergestütztes Lern- und Trainingsprogramm eingegeben werden können.

## Patentansprüche

- Verfahren zur Bestimmung individualspezifischer Insulinwirkäquivalente körperlicher Aktivität, dadurch gekennzeichnet, daß aus Belastungsherzfrequenzdaten als verfahrensgemäße Eingangsdaten für eine Mikrorechneranordnung mittels Mittelwertbildung eine individualspezifische Belastungsherzfrequenz abgeleitet und in der Mikrorechneranordnung abgespeichert wird, daß mittels dieser individualspezifischen Belastungsherzfrequenz auf der Grundlage des bekannten physiologischen Modells des Glukose/Insulin-Stoffwechsels rechnergestützt das individualspezifische Insulinwirkäquivalent, welches aus einer quantitativen Maßzahl, die als Vielfaches der Wirkung einer internationalen Insulineinheit ausgedrückt ist, und einem dieser Maßzahl zugeordneten Profil des Ausmaßes, der Dauer und des zeitlichen Verlaufes der insulinähnlichen Effekte dieser körperlichen Aktivität besteht, bestimmt wird und daß bei Kenntnis dieses individualspezifischen Insulinwirkäquivalents anhand eines modellgestützt er-

zeugten Nomogramms, welches eine Beziehung zwischen der Herzfrequenz einer körperlichen Aktivität und des modellbestimmten Insulinwirkprofils beschreibt, unter Berücksichtigung der Dauer, der Intensität und der Art der jeweiligen Aktivitäten prospektiv die zu erwartenden Effekte dieser körperlichen Aktivität mittels rechnergestützte Lern- und Trainingsprogramme individualspezifisch bestimmbar sind.

- 5
2. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sie aus einer ersten Kettenschaltung zur Bestimmung des individualspezifischen Insulinwirkäquivalents auf Basis der Belastungsherz-
- 10
- frequenz, bestehend aus einem ersten Input-Modul (1), einem Herzfrequenz-Modul (2), einem Regressions-Modul (3), einem Differentialgleichungs-Modul (5) und einem ersten Output-Modul (6) und einer zweiten Kettenschaltung zur Bestimmung des individualspezifischen Insulinwirkäquivalents beliebiger körperlicher Aktivitäten, bestehend
- 15
- aus einem zweiten Input-Modul (7), einem Aufbereitungs-Modul (8), einem Nomogramm-Modul (9), einem zweiten Differentialgleichungs-Modul (10) und einem zweiten Output-Modul (11), wobei der Ausgang des Herzfrequenz-Moduls (2) auch an den zweiten Eingang des Nomogramm-Moduls (9) geführt ist, und die Ausgänge eines Modellreferenz-Moduls (4) an den zweiten Eingang des Regressions-Moduls, des ersten und des zweiten Differentialgleichungs-Moduls und an den dritten Eingang des Nomogramm-Moduls geschaltet sind.
3. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß sie vorzugs-
- 20
- weise in das Mikrorechnersystem eines Belastungs-Ergometers integrierbar ist.
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55

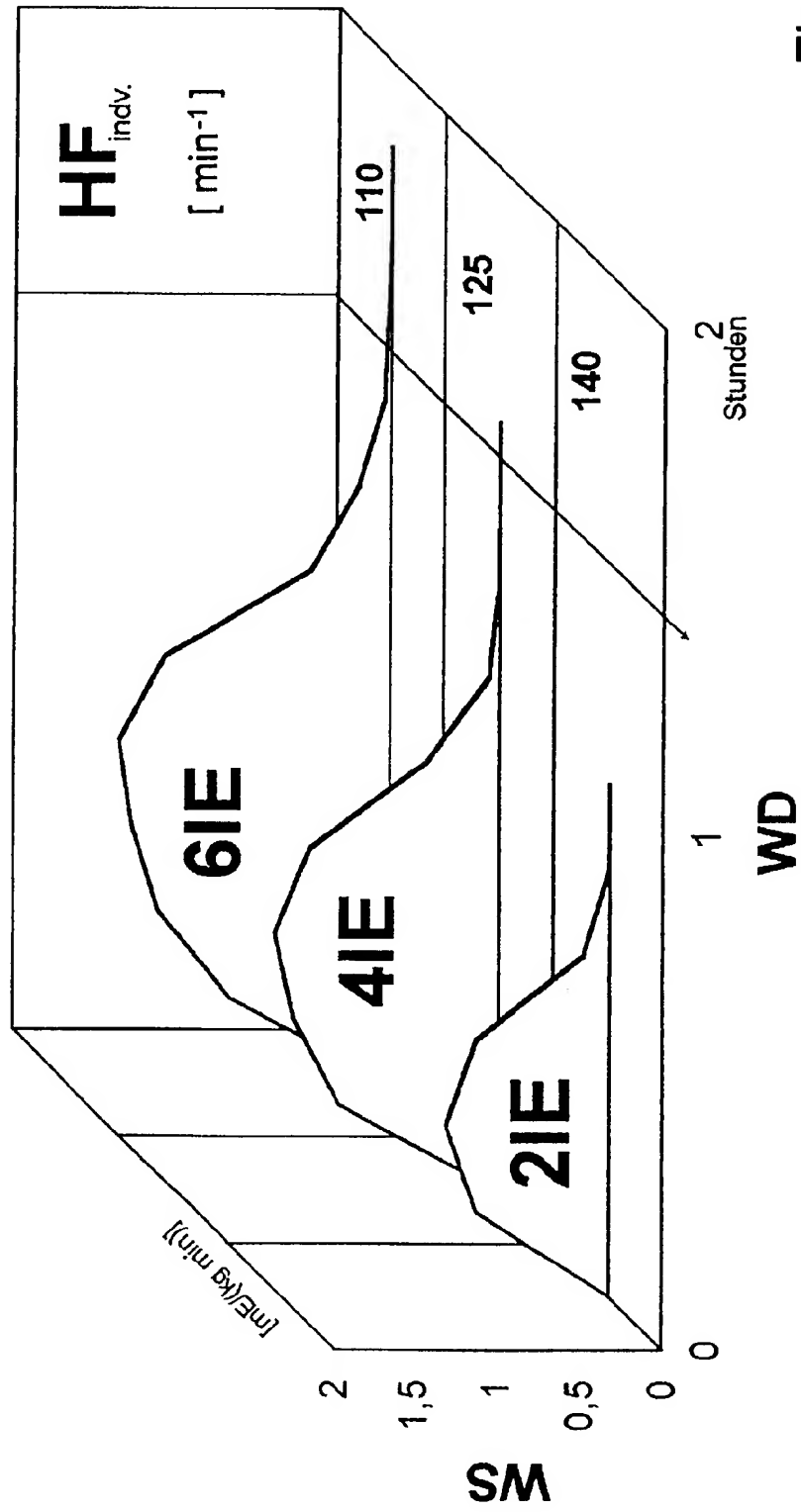


Fig. 1



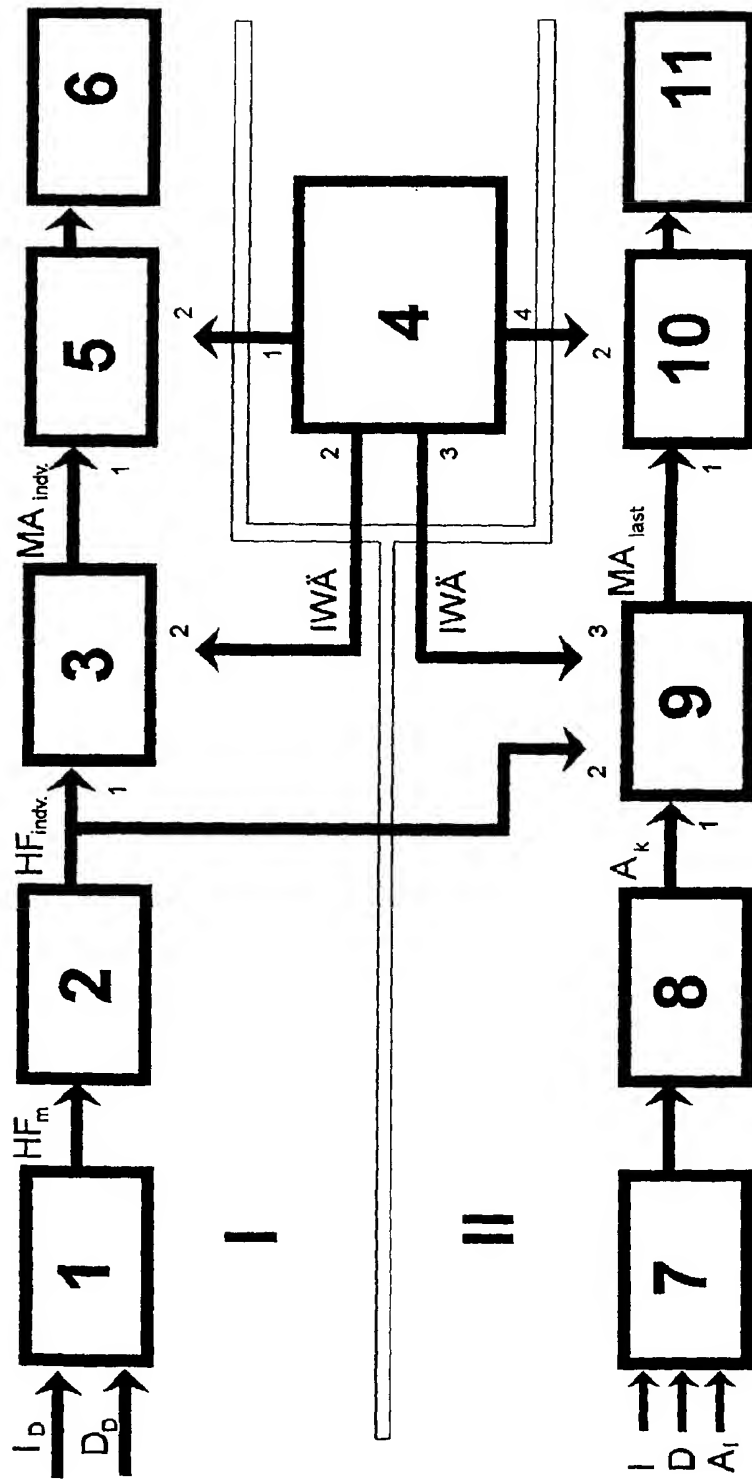
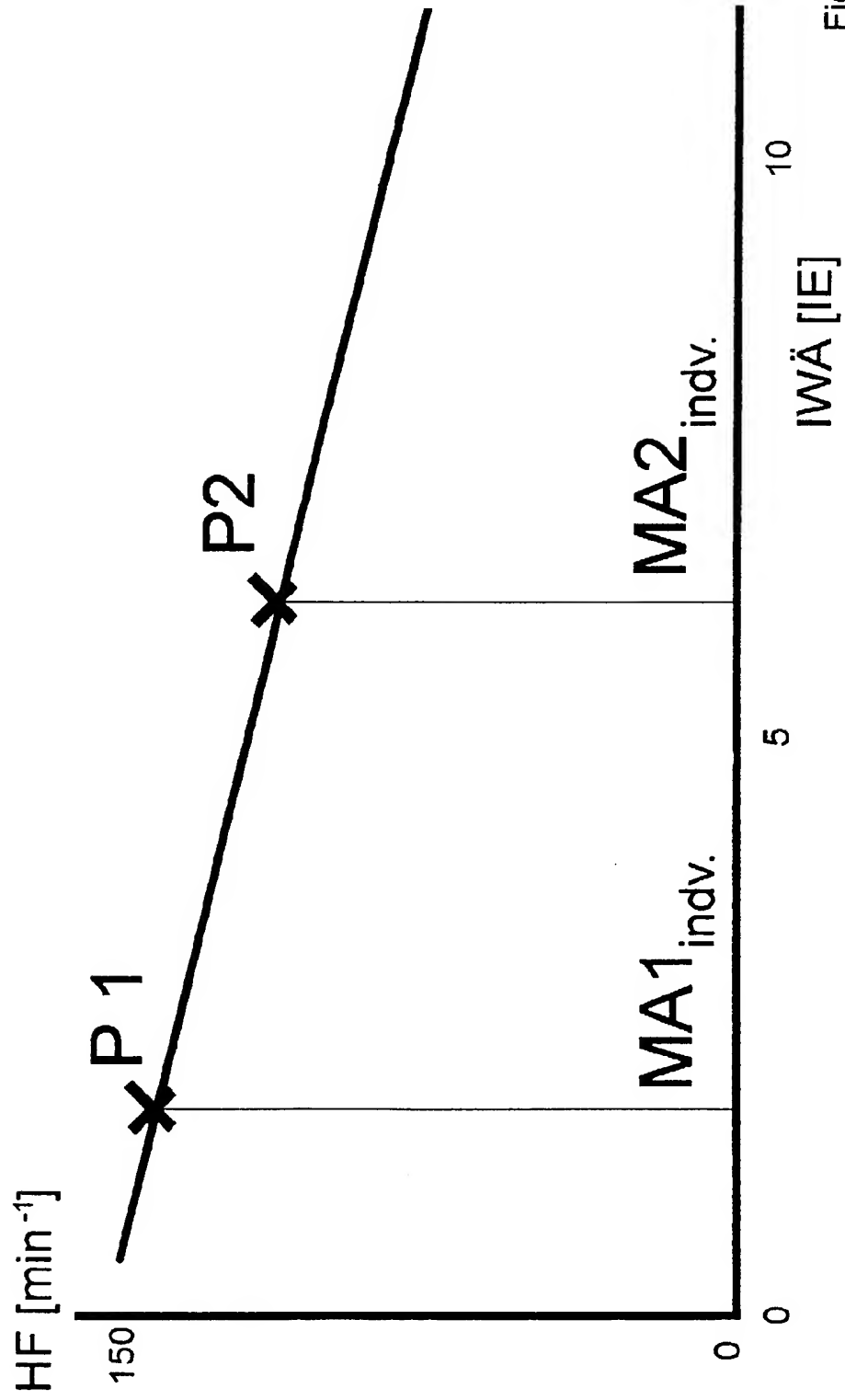


Fig. 2



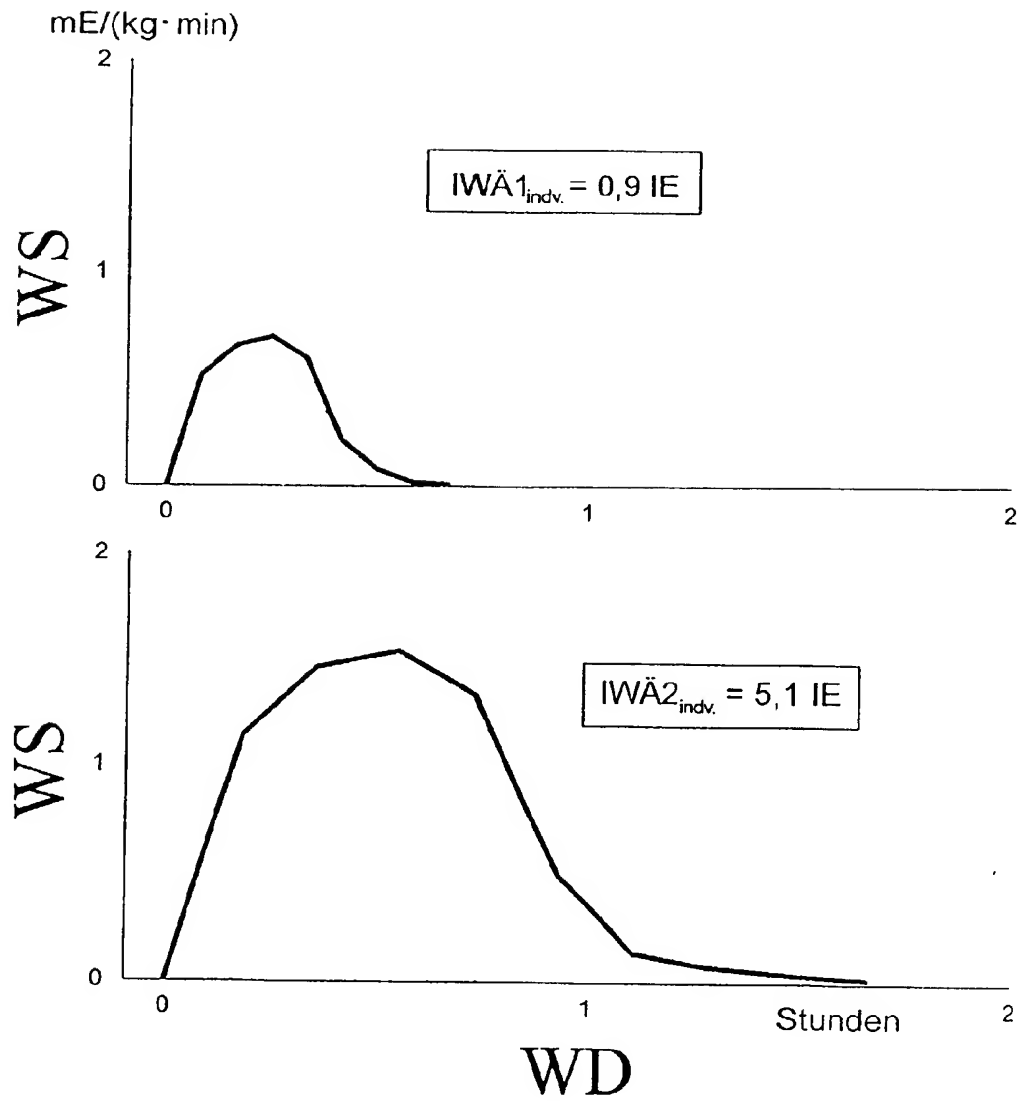


Fig. 4

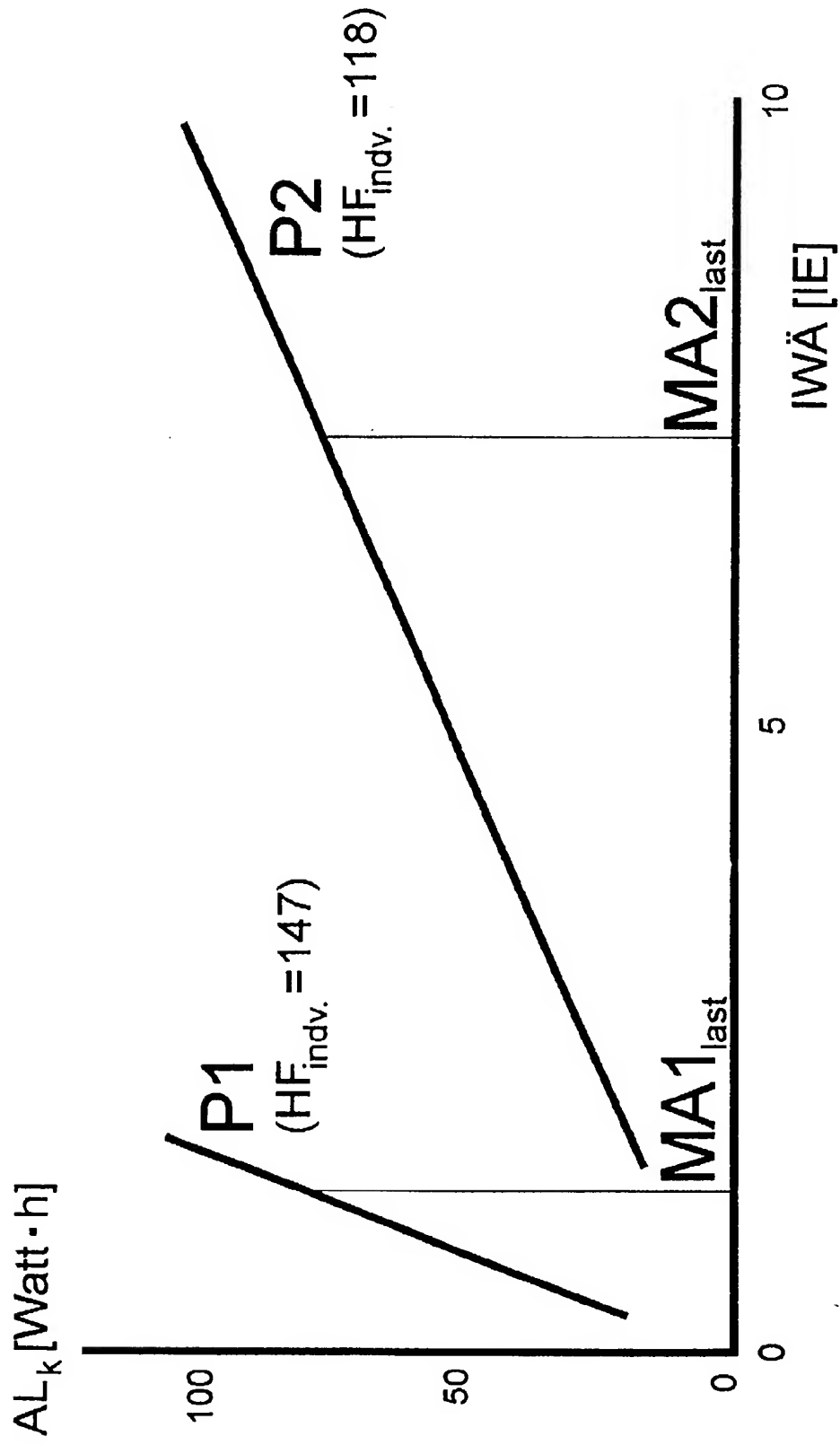


Fig. 5

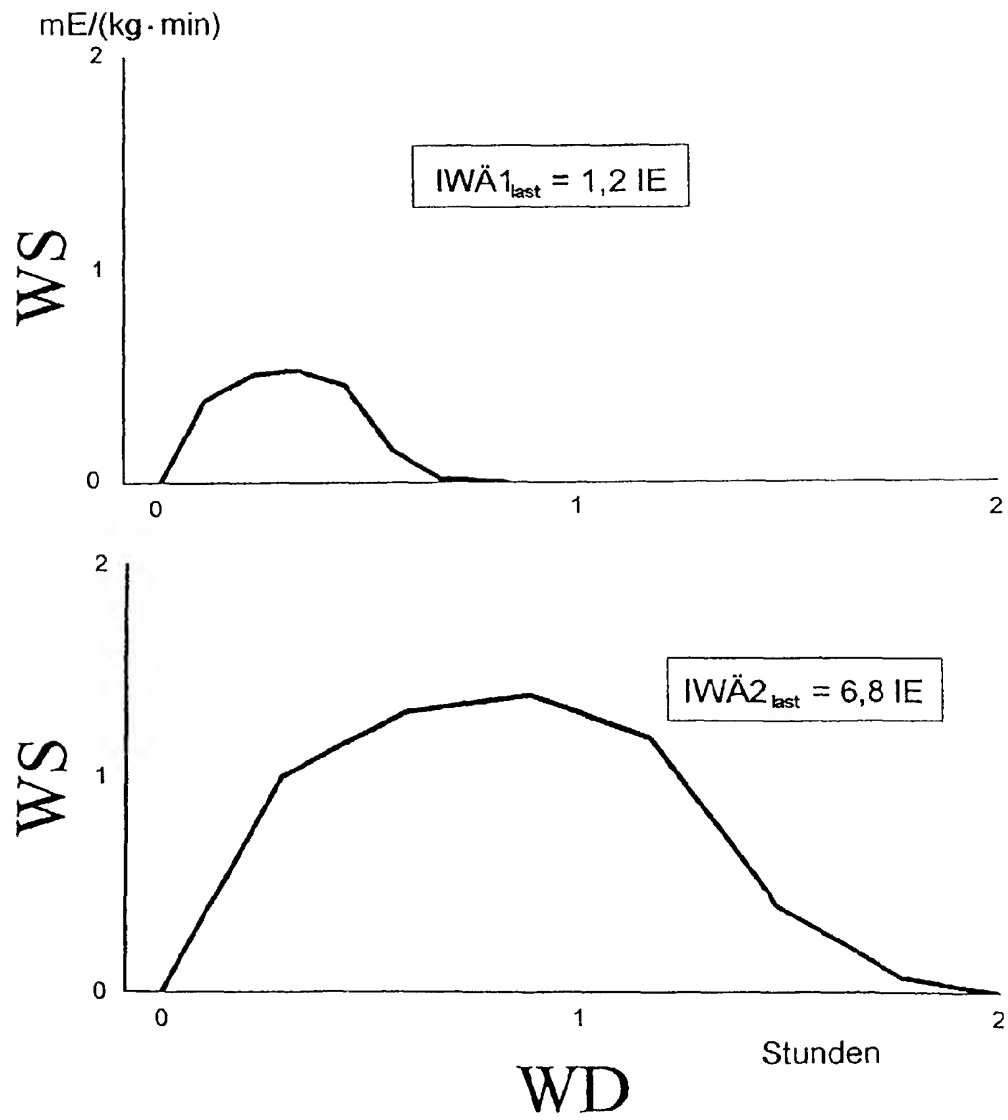


Fig. 6